LA BIBLIOTHEQUE R&D DEMPTOS
www.demptos.fr
Publications scientifiques et techniques

Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1993, 27, N° 1, 23-34

INCIDENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LA CONSOMMATION DE L'OXYGÈNE ET SUR LE POTENTIEL D'OXYDORÉDUCTION DANS LES VINS

N. VIVAS* [1], F. ZAMORA** et Y. GLORIES*

*Institut d'Œnologie, Université de Bordeaux II,
351, cours de la Libération, 33405 Talence (France)
**Escola d'Enologia, Université de Barcelone,
av. Ramon y Cajal, 70, 43005 Tarragone (Espagne)

Résumé : *L'influence de plusieurs facteurs sur la consommation de l'oxygène et le potentiel d'oxydoréduction a été étudiée. Les facteurs choisis sont : les catalyseurs métalliques d'oxydation (fer et cuivre), les antioxydants (anhydride sulfureux et acide ascorbique), les principaux constituants du vin et les conditions de conservation.*

Le fer et le cuivre accélèrent les réactions d'oxydation dans les vins rouges. Le milieu devient rapidement réduit et le potentiel normal du vin (Eov) diminue. Dans les vins blancs, on observe une augmentation du Eov; le milieu devient alors plus oxydable.

L'anhydride sulfureux (SO_2) participe faiblement aux propriétés antioxydantes du vin rouge. En revanche, le vin blanc est correctement protégé des réactions d'oxydation par le SO_2.

Ces différences de comportement entre les vins rouges et les vins blancs sont probablement dues aux composés phénoliques.

INTRODUCTION

L'essentiel des travaux sur les mécanismes d'oxydoréduction porte sur la consommation des moûts et des vins en oxygène. Les mesures se faisant soit par méthode chimique (RIBÉREAU-GAYON, 1933), soit plus fréquemment, par des méthodes polarographiques (HALE, 1987; SANDLERS et *al.*, 1988; PAMPURO et HALE, 1988). Toutes ces études ont pour but de contrôler la stabilité des moûts blancs par l'élimination des composés phénoliques (CANTARELLI et GIOVANELLI, 1990), de déterminer le besoin en oxygène des levures en début de phase fermentaire (LAFON-LAFOURCADE et LARUE, 1981; SABLAYROLLES et BARRE, 1986), de maîtriser le brunissement oxydatif des vins en cours de conservation (ROSSI et SINGLETON, 1966) ainsi que de prévenir les phénomènes de casses dans les vins blancs (RIBÉREAU-GAYON, 1928).

---

[1] chercheur de la Tonnellerie Demptos

On trouve également des études portant seulement sur la mesure du niveau d'oxydoréduction des vins (GALIC et *al.*, 1988).

Or, l'étude des phénomènes oxydatifs doit prendre en compte, simultanément, la teneur en oxygène, le potentiel d'oxydoréduction et la composition du vin. Ces facteurs sont influencés par les conditions de conservation (VIVAS et GLORIES, 1993) et par l'apport de produits œnologiques catalysant ou inhibant les réactions d'oxydation.

Dans ce présent article, nous étudions l'influence de certains facteurs sur les réactions d'oxydoréduction. Nous aborderons successivement le rôle des régulateurs des mécanismes oxydatifs (catalyseurs métalliques et antioxydants), des principaux constituants du vin et des conditions de conservation.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I — MESURE DE POTENTIEL D'OXYDORÉDUCTION ET DOSAGE DE L'OXYGÈNE DISSOUT

1) Conditions de mesure

Les mesures sont réalisées dans une enceinte thermostatée à 25°C, avec une agitation permanente du vin, pour limiter les effets de "zone" et compenser la consommation en oxygène de l'électrode de Clark. Les résultats représentent la moyenne de cinq mesures.

L'apport d'oxygène se fait par barbotage d'un mélange gazeux oxygène (N2/02, 20/80, v/v) et son élimination, par un courant d'azote (N2, RP).

Les conditions de mesure du potentiel d'oxydoréduction ont été décrites par ailleurs (VIVAS et *al.*, 1992).

2) Electrodes de mesure du potentiel d'oxydoréduction

Les électrodes utilisées sont adaptées à la mesure du potentiel d'oxydoréduction dans les vins (VIVAS et *al.*, 1992). Elles se composent d'une électrode de référence à double jaquette (jaquette interne : filament Ag/AgCl; jaquette externe : milieu modèle, éthanol 12 p. cent vol, 5 g d'acide tartrique, NaOH qsp = 3,5, eau distillée qsp 1.000 ml) et d'une électrode de mesure (électrode Pt/Ag/AgCl).

3) Electrode de mesure de l'oxygène dissout

Il s'agit d'une électrode de Clark. Les mesures sont réalisées avec un oxymètre WTW (OXI 96), avec correction de la pression atmosphérique (+/- 2 mBar). L'étalonnage s'effectue dans un becher de stockage (OXIcal-S) et la polarisation nécessite 10 mn pour une pente relative de 0,6 à 1,2.

II — COMPOSITION DES VINS ET DES MILIEUX MODÈLES

La composition des vins influence leurs comportements physico-chimiques. Nous avons donc choisi des vins relativement neutres et de composition moyenne pour le Bordelais. De part leur importance dans l'encépagement, deux vins de Merlot noir, quatre vins de Cabernet-Sauvignon, deux vins de Sauvignon, un vin de Sémillon et un vin d'Ugni blanc ont été choisis. Tous ces vins ont été élevés en cuve inox. Les résultats étant similaires, nous ne présentons les résultats que des deux vins de Merlot et d'un vin de Sauvignon. Les analyses concernant ces vins sont rassemblées dans le tableau I.

L'étude de l'influence des constituants du vin sur le potentiel d'oxydoréduction est réalisée en milieux modèles, dont la composition est identique à celle de la solution utilisée pour le remplissage de la jaquette externe de l'électrode de référence : éthanol 12 p. cent vol, 5 g d'acide tartrique, NaOH (N) qsp, pH = 3,5 et de l'eau distillée qsp 1.000 ml.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I — INCIDENCE DE RÉGULATEURS DES MÉCANISMES OXYDATIFS

1) Influence du fer (Fe II) et du cuivre (Cu I)

Le fer et le cuivre sont des catalyseurs oxydatifs connus depuis longtemps (RIBÉREAU-GAYON, 1933). Dans des vins renfermant des quantités moyennes de ces cations métalliques (tableau I), la vitesse de consommation de l'oxygène (Vitesse instantanée : Vi) est toujours plus importante dans les vins rouges que dans les vins blancs (tableau II), même après de forts ajouts de fer II (8 mg/l) et de cuivre I (2 mg/l) (tableau II). Ceci est lié à la plus grande concentration en substances oxydables des vins rouges, qui sont, pour l'essentiel, des composés phénoliques. Le milieu modèle ne renfermant que peu de composés oxydables (éthanol et acide tartrique) à une vitesse instantanée 100 fois plus faible que le vin blanc. En outre, la température ralentit significativement la vitesse de consommation de l'oxygène dissout; en effet, dans l'essai réalisé au chai, la vitesse instantanée est fortement ralentie car la température varie, dans cet exemple, de 8°C la nuit à 15°C le jour. L'ajout de forte quantité de fer et de cuivre double la vitesse instantanée dans les vins et la quadruple dans le milieu modèle dans lequel il n'y a pas d'antioxydants.

Mais l'effet de ces éléments sur l'état d'oxydoréduction est très différent selon qu'on étudie le vin rouge ou le vin blanc :

- Pour le vin rouge, le fer et le cuivre provoquent une rapide diminution du potentiel (dEH/dt) (tableau II) suivie d'une baisse du potentiel normal du vin (Eov) (tableau II), le milieu est alors plus réduit que le témoin. Tout se passe comme si ces catalyseurs accélèrent à la fois les réactions d'oxydation directe par l'oxygène moléculaire et les réactions d'oxydation intermédiaire, par la voie des péroxydes, selon le principe classique de CHAPON et CHAPON (1977).

- Pour le vin blanc, le potentiel d'oxydoréduction (dEH/dt) et le potentiel normal (Eov) augmentent, le milieu est alors plus oxydé que son témoin. Il semble que la consommation en oxygène produise un excès de péroxyde, dont la disparition est plus lente que dans les vins rouges; ce qui explique la création d'un milieu oxydé. Le retour du potentiel normal à son niveau initial demande plusieurs semaines à l'abri de l'oxygène et de la lumière.

TABLEAU I

Composition des vins étudiés

	Vins rouges		Vin blanc
Cépages / millésimes	1 Merlot (1990)	2 Merlot (1991)	Sauvignon (1991)
TAV (% vol.) à 20°C	12,2	12,1	11,4
pH	3,5	3,54	3,24
SO_2 libre (mg/l)	12	18	25
d280	58	56	3,6
Tanins (g/l)	3,75	3,28	—
Anthocyanes (mg/l)	412	466	—
d420 nm	—	—	0,11
IC'	1,19	1,22	—
T	0,61	0,61	—
Indice HCl (%)	36	29	—
Indice gélatine (%)	57	62	—
Indice PVPP (%)	35	41	—
Fer (mg/l)	1,9	2,3	3,8
Cuivre (mg/l)	0,11	0,82	0,62

2) Influence de l'anhydride sulfureux et de l'acide ascorbique

Dans nos conditions, l'anydride sulfureux, à la dose de 62 mg/l, n'affecte que très faiblement la vitesse instantanée de consommation de l'oxygène dissout du vin rouge. Par rapport au témoin, les vitesses instantanées sont très proches (tableau III).

On observe également que le potentiel d'oxydoréduction du vin est faiblement influencé par l'anhydride sulfureux, quelque soit la teneur en oxygène (figure 1). De plus, le potentiel normal du vin n'est pas significativement différent après ajout de l'anhydride sulfureux (Eov + 25 mv).

TABLEAU II

Influence du fer et du cuivre sur la consommation en oxygène et le potentiel d'oxydoréduction des vins

			Vi mg O_2/mn	d EH / dt	EHM (mV)	EHm (mV)	Δ EH (mV)	Eov (mV)
			1	2	3	4		5
Laboratoire	vin rouge 1	témoin	0,45	-0,7	528	258	270	273
		supplémenté	0,9	-1,42	461	212	249	252
	vin blanc	témoin	0,2	-0,27	574	222	352	223
		supplémenté	0,38	0,41	530	225	305	330
	milieu modèle	témoin	0,025	-0,001	—	—	—	230
		supplémenté	0,12	0,03	—	—	—	335
Chai Fût inox de 1 hl	vin rouge 2	témoin	0,0016	-0,19	436	247	289	261
		supplémenté	0,0034	-0,041	481	220	261	236

1 : vitesse instantanée de consommation de l'oxygène; 2 : pente de régression du potentiel pendant les 72 heures qui suivent la saturation du milieu en oxygène; 3 : potentiel maximum (après saturation en oxygène); 4 : potentiel minimum (en absence d'oxygène); 5 : potentiel normal (calculé d'après VIVAS et *al.* (1992))

Milieu supplémenté par 8 mg/l de Fe (II) et 2 mg/l de Cu (I)

TABLEAU III

Influence de l'anhydride sulfureux et de l'acide ascorbique sur la vitesse instantanée (Vi) de consommation de l'oxygène dans les vins

		Vi (mg/mn) 1ère saturation en O_2	Vi (mg/mn) 4ème saturation en O_2
Vin rouge 1	témoin	0,45	0,42
	supplémenté en SO_2	0,42	0,42
	supplémenté en acide ascorbique	0,5	0,44
Vin blanc	témoin	0,2	0,21
	supplémenté en SO_2	0,33	0,32
	supplémenté en acide ascorbique	0,26	0,21

Vin supplémenté soit par 50 mg/l de SO_2, soit par 100 mg/l d'acide ascorbique

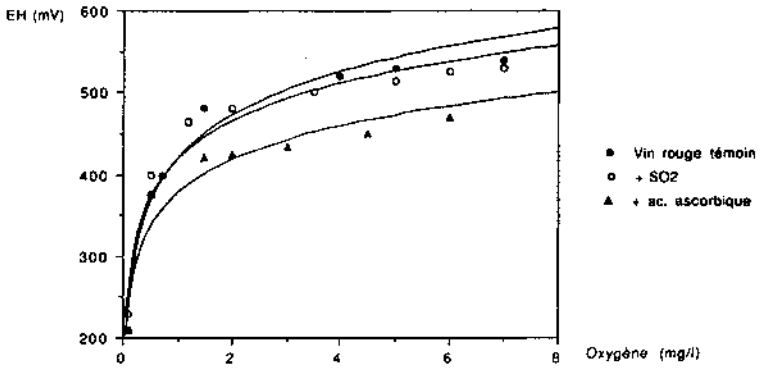

Fig. 1 — Mesures du potentiel d'oxydoréduction à différentes teneurs en oxygène dissout. Incidence de SO_2 (50 mg/l) et de l'acide ascorbique (100 mg/l). Mesures sur le vin rouge 1.

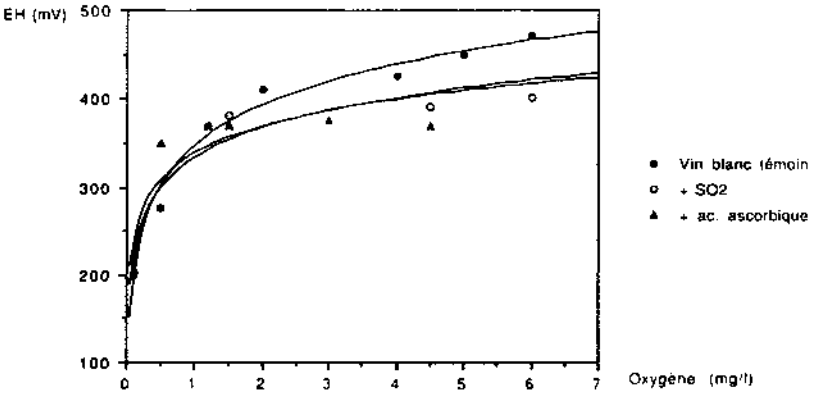

Fig. 2 — Mesures du potentiel d'oxydoréduction à différentes teneurs en oxygène dissout. Incidence de SO_2 (50 mg/l) et de l'acide ascorbique (100 mg/l). Mesures sur le vin blanc.

En revanche, l'effet antioxydant de l'anhydride sulfureux se révèle de façon caractéristique dans le vin blanc. On note, d'une part, une augmentation de la vitesse instantanée (tableau III) et d'autre part un abaissement sensible du potentiel d'oxydoréduction, quelque soit la teneur en oxygène dissout (figure 2). De plus, le potentiel normal du vin augmente fortement (Eov + 100 mv).

Ces observations confirment celle de ZAMORA (1989) qui utilise une autre méthode de caractérisation. L'auteur intègre les courbes de potentiels théoriques et expérimentales; l'aire entre les deux tracés exprime un indice de l'état d'oxydation du vin. L'ensemble des résultats suggère que le SO_2 ne peut pas intervenir efficacement en tant qu'agent antioxydant dans les vins rouges. D'autres systèmes redox naturellement présents doivent assurer cette fonction. Des études en cours tentent de les isoler et d'analyser leurs modes d'actions.

L'acide ascorbique présente des propriétés antioxydantes dans le vin rouge (figure 1) et dans le vin blanc (figure 2). Mais après quatre saturations en oxygène son effet diminue (tableau III), ce qui correspond à sa totale oxydation. Il s'agit d'un antioxydant dont l'action est intense et brève.

II — INCIDENCE DE CONSTITUANTS MAJEURS DU VIN

Un milieu modèle, supplémenté en différents constituants, a été retenu. La composition des milieux et les résultats des expériences sont rassemblés dans le tableau IV.

L'éthanol augmente la vitesse instantanée et diminue le potentiel d'oxydoréduction maximum (EHM). Mais les écarts, dans les limites du titre alcoométrique moyen des vins, (9 à 13 p. cent vol.), restent faibles.

Les acides tartrique et malique n'ont que peu d'effet sur les mécanismes oxydatifs. En revanche, l'acide lactique semble, dans nos conditions, augmenter la vitesse instantanée et provoquer une élévation de l'état d'oxydation du milieu. Néanmoins les différences restent peu importantes.

Le glycérol, principal polyol des vins est sans effet sur la consommation en oxygène et sur la variation du potentiel normal du milieu.

Les composés phénoliques sont susceptibles de consommer une grande quantité d'oxygène et d'être responsables des équilibres potentiométriques dans les vins. D'une façon générale, les polyphénols s'opposent aux variations de potentiel; ils limitent, en particulier, l'élévation du EH lors d'une saturation en oxygène.

Le milieu modèle supplémenté en anthocyanes monoglucosides (60 p. cent de malvidine) consomme l'oxygène plus rapidement que les autres milieux contenants de la catéchine ou des procyanidines. Les anthocyanes sont donc très sensibles à l'oxydation. Mais lorsque les anthocyanes sont combinés avec des procyanidines, la vitesse instantanée du milieu, alors plus faible, devient comparable à celle des autres milieux supplémentés en différents composés flavanoliques. Les combinaisons tanins/anthocyanes sont donc des formes plus stables de la matière colorante des vins.

TABLEAU IV

Influence des principaux constituants du vin sur la consommation en oxygène et le potentiel d'oxydoréduction du milieu modèle

Nature du composé		Concentration	Vi (mg/mn) [1]	d EH / dt [2]	EHM (mV) [3]	Eov (mV) [4]
Témoin		—	0,025	- 0,01	528	230
Alcools	éthanol	0%	0,004	0	573	225
	éthanol	5%	0,017	- 0,01	560	245
	éthanol	15%	0,071	- 0,02	512	240
Acides organiques	acide tartrique	3 g/l	0,025	- 0,01	530	227
	acide tartrique	7 g/l	0,027	- 0,02	535	234
	acide malique	3 g/l	0,021	- 0,01	526	236
	acide lactique	2,5 g/l	0,023	- 0,02	518	251
Polyols	glycérol	5 g/l	0,022	- 0,01	521	229
Composés phénoliques	catéchine	2 g/l	0,104	- 0,41	506	237
	procyanidines oligomères	2 g/l	0,101	- 0,36	515	274
	procyanidines polymères	2 g/l	0,086	- 0,25	517	292
	anthocyanes monoglucosides	200 mg/l	0,112	- 0,45	491	302
	combinaisons tanins-anthocyanes	2 g/l	0,97	0,4	514	285
Polymères osidiques	polysaccharides levuriens	500 mg/l	0,067	- 0,07	513	268
Polymères protéiques	ovalbumine	1 g/l	0,115	- 0,58	492	216

Milieu modèle témoin : 12 % vol. d'EtOH: 5g d'acide tartrique; NaOH 1N qsp pH = 3,5; eau distillée qsp 1.000 ml

[1] vitesse instantanée de consommation de l'oxygène; [2] pente de régression du potentiel pendant les 72 heures qui suivent la saturation du milieu en oxygène; [3] potentiel maximum (après saturation en oxygène); [4] potentiel normal (calculé d'après VIVAS et *al.* (1992))

La vitesse de consommation de l'oxygène dissout, évaluée par la mesure de la vitesse instantanée, est d'autant plus importante que le degré de condensation des molécules est faible (Vi "catéchine" : 0,104 > Vi "pro procyanidines oligomères" : 0,101 > Vi "procyanidines polymères" : 0,086). Cette observation suggère que les vins riches en tanins peu condensés consomment rapidement l'oxygène. La mesure de l'indice d'HCl (GLORIES, 1978), qui exprime l'état de condensation des tanins, peut apporter des informations utiles concernant le besoin des vins en oxygène.

Les polysaccharides levuriens (mannoprotéines) affectent peu les phénomènes oxydatifs.

Enfin, l'ovalbumine semble favoriser la réduction du milieu. Un enrichissement en protéines (vendange peu mûre, élevage sur lies et apport de protéines exogènes) est susceptible de limiter les risques d'oxydation des vins.

III — INCIDENCE DES CONDITIONS DE CONSERVATION ET D'ÉLEVAGE DES VINS

Les conditions de conservation et d'élevage ont un impact important sur les mécanismes d'oxydoréduction, ils s'avèrent capables de modifier profondément la qualité des vins. De nombreux facteurs technologiques peuvent être étudiés (filtration, centrifugation, collage, traitements d'élevage, nature des récipients, techniques de conditionnement, de transport et de conservation des vins). Néanmoins, nous nous attacherons à en étudier deux, dont on peut facilement contrôler les effets : il s'agit de la température et de la nature du récipient d'élevage.

1) Influence de la température

Le vin rouge 1 et un milieu modèle sont saturés en oxygène dissout à des températures différentes (de + 5°C à + 35 °C). On enregistre simultanément la teneur en oxygène à saturation et le potentiel d'oxydoréduction maximum correspondant. Les résultats sont rassemblés sur la figure 3. Il convient de noter que l'augmentation de la température provoque une chute rapide de la teneur en oxygène à saturation. Entre + 5°C et + 35°C la dose d'oxygène saturante passe de 10,5 mg/l (+/- 0,2 mg/l) à 5,62/l (+/- 0,2 mg/l). Tous les vins utilisés dans cette expérimentation possèdent la même capacité à dissoudre l'oxygène que des solutions modèles. Les teneurs en oxygène à saturation ne sont pas significativement différentes du milieu modèle quelque soit le vin (blanc ou rouge). L'abaque de la figure 3 peut donc être utilisé pour définir les quantités maximales d'oxygène pouvant pénétrer dans les vins en fonction de la température. Nos résultats sont comparables à ceux de RIBÉREAU-GAYON (1933) qui utilisait une technique chimique particulièrement délicate. En revanche, l'extrait sec des vins choisis ne semble pas affecter le taux d'oxygène saturant.

Le potentiel d'oxydoréduction maximum n'est pas une constante, il dépend du potentiel normal du vin et de la teneur en couple redox (éthanol, polyphénol, cations métalliques...).

Ces résultats rappellent qu'une manipulation de vin à des températures basses (< 10°C) peut provoquer des oxydations profondes.

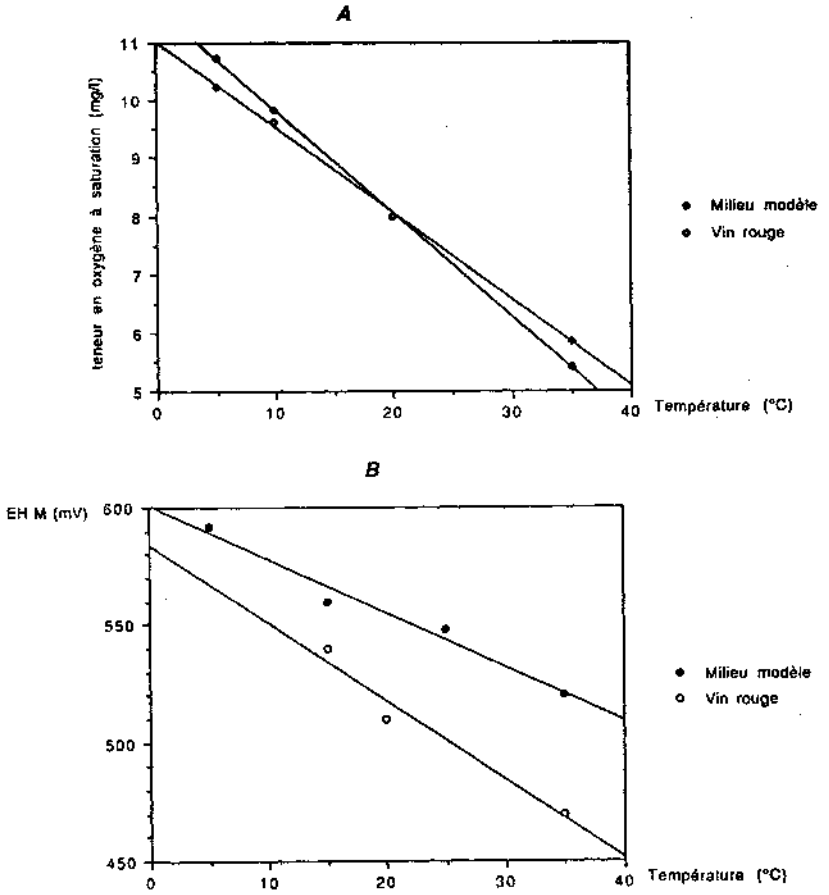

Fig. 3 — Incidence de la température sur la teneur en oxygène à saturation (A) et sur le potentiel d'oxydoréduction maximum (EH mesuré à saturation en oxygène) (B). Mesure dans le milieu modèle et dans le vin rouge 1.

2) Influence de la nature du récipient d'élevage

La conservation d'un même vin de Merlot durant 8 mois dans des récipients de nature différente révèle des écarts concernant la teneur en oxygène dissout et le niveau d'oxydoréduction. Les résultats sont regroupés dans le tableau V.

Les fûts en chêne permettent de maintenir une teneur en oxygène dissout très faible; la moyenne est d'environ 0.3 mg de O_2/l. Au cours de leur utilisation, la paroi des barriques se recouvre de cristaux de tartre et de matière colorante colloïdale. Ces dépôts colmatent progressivement les pores du bois en contact avec le vin et sont à l'origine de la diminution du passage de l'oxygène. La mesure du potentiel dans des fûts d'âges différents confirment cette observation.

Le vin des cuves en béton, inox et plastique ne renferme pratiquement pas d'oxygène; d'ailleurs le potentiel d'oxydoréduction enregistré est relativement bas en regard de celle des fûts de 3 ans. Les cuves en matière plastique semblent favoriser les réactions de réduction, perceptibles à la dégustation.

TABLEAU V

Influence de la nature du récipient sur la teneur en oxygène et sur le potentiel d'oxydoréduction des vins rouges

Nature du récipient	Capacité (hl)	Oxygène (mg/l)	Potentiel d'oxydoréduction moyen (EH en mV)
Barrique bordelaise	2,25		
1 an		0,4	245
3 ans		0,2	228
4 ans		0,2	218
Cuve inox	70	<0,1	220
Cuve béton	85	<0,1	215
Cuve plastique	20	<0,1	194

Mesures réalisées sur le Merlot noir 2; température du vin = 6°C

CONCLUSIONS

Ce travail permet d'interpréter des observations anciennes, concernant notamment la plus grande oxydabilité des vins blancs ayant subi un enrichissement technologique en cuivre ou en fer car le potentiel normal du vin est augmenté. Dans les vins rouges, la plus grande quantité de couple redox, de nature phénolique pour l'essentiel, compense le phénomène.

Manuscrit reçu le 12 novembre 1992; accepté pour publication le 11 janvier 1993

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CANTARELLI C. et GIOVANELLI G., 1990. Traitements de stabilisation des vins blancs par oxydations enzymatiques des polyphénols. *Rev. Fr. Œnol.*, 30, 124, 61-71.

CHAPON L. et CHAPON S., 1977. Phénomènes d'oxydations catalytiques dans les bières. *Proceeding of the 16th Congress of the European Brewery Convention*, Amsterdam.

GALIC K. , PALIC A., CIKOVIC N. and MARIC V., 1988. Influence of wort composition and yeast generations on redox potential change of green beers. *Monatss. für Brauw.*, 41, 5, 209-121.

GLORIES Y., 1978. Recherches sur la matière colorante des vins rouges. *Thèse Doctorat d'Etat es Sciences*, Université de Bordeaux II.

HALE J.M. , 1987. Oxygen measurements in the brewery. *The Brewery*, n°august, 363-366.

LAFON-LAFOURCADE S. et LARUE F., 1981. Viabilité des cellules en fin de fermentation alcoolique. Les stéroïdes, facteurs de survie des levures. *C.R. Coll. Soc. Fr. Microbiol.*, Reims, 147-172.

PAMPURO P. and HALE J.M., 1988. Misure di ossigeno disciolto nelle bevande. *Ind. Dele Bevande*, **XVII**, aprile, 150-153.

RIBÉREAU-GAYON J., 1928. Sur certains troubles accidentels des vins blancs. *Procès-verbaux Soc. Sc. Phys. Nat.*, Bordeaux, séance du 12 janvier 1928.

RIBÉREAU-GAYON J., 1933. *Contribution à l'étude des oxydations et réductions dans les vins. Applications à l'étude du vieilissement et des casses.* Delmas E., Bordeaux.

ROSSI J.A. and SINGLETON V.L., 1966. Contribution of grape phenols to oxygen absorption and browning of wines. *Am. J. Enol. Vitic.*, **17**, 231-239.

SABLAYROLLES J.M. et BARRE P., 1986. Evolution de la solubilité de l'oxygène au cours de la fermentation alcoolique d'un moût de raisin. Etude sur milieux modèles. *Sc. Alim.*, **6**, n°2, 177-184.

SANDLERS G.D., ROBERTS J. and CORNELLE J.,1988. Determination of oxygen solubility in liquid foods using a dissolved oxygen electrode. *J. Food. Sc.*, **53**, 5, 1493-1496.

VIVAS N., ZAMORA E. et GLORIES Y., 1992. Etude des phénomènes d'oxydoréduction dans les vins. Mise au point d'une méthode rapide de mesure du potentiel d'oxydoréduction. *J. Int. Sc. Vigne Vin*, **26**, n°4, 197-214.

VIVAS.N et GLORIES.Y., 1993. Les phénomènes d'oxydoréduction liés à l'élevage sous bois. Aspects technologiques. *Rev. Fr. Œnol.*, **33**, n°40, 12-17.